

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

**Návrh doplnění PC – letového simulátoru o modul FMS**

Proposal of FMS Module for PC – Flight Simulator Supplementation

Student:

Ondřej Němeček

Vedoucí bakalářské práce

doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.

Ostrava 2016

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Ondřej Němeček**

Studijní program:

B3712 Technologie letecké dopravy

Studijní obor:

3708R037 Technologie provozu letecké techniky

Téma:

Návrh doplnění PC - letového simulátoru o modul FMS  
Proposal of FMS Module for PC - Flight Simulator Supplementation

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Nastudovat problematiku leteckých simulátorů a jejich využití při výcviku pilotů.
2. Nastudovat technickou specifikaci PC - letových simulátorů při ÚLD.
3. Nastudovat problematiku systému RNAV/FMS.
4. Navrhnout možnosti doplnění stávajících PC - letových simulátorů při ÚLD o modul FMS.
5. Navrhnout postup výuky systému RNAV/FMS pomocí stávajících PC - letových simulátorů.

Seznam doporučené odborné literatury:

Letecký předpis Part FCL

Technická specifikace PC - letových simulátorů při ÚLD

Učební texty ATPL, Modul 022 Přístrojové vybavení, Brno: CERM Brno, 2006

Učební texty ATPL, Modul 062 Radionavigace, Brno: CERM Brno, 2006

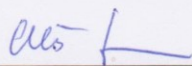
Ostatní veřejně dostupné zdroje

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



## **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 16. května 2016

.....

Podpis studenta

## Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 16. května 2016

.....

Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Ondřej Němeček

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Lípa 51, Lípa, 763 11

## **Poděkování**

Touto cestou bych chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Vladimíru Smržovi, Ph.D. za cenné rady, konzultace a připomínky k vypracování této bakalářské práce. Dále bych poděkoval celé rodině a přátelům za podporu.

## **Anotace Bakalářské práce**

Němeček, O. *Návrh doplnění PC – letového simulátoru o modul FMS*: Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Institut dopravy – Ústav letecké dopravy, 2016. 58 s.

Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.

Tato bakalářská práce je zaměřena na softwarové a hardwarové rozšíření a modernizaci letového simulátoru na Ústavu letecké dopravy VŠB-TUO o Flight Management System (dále jen FMS). Daný systém by měl sloužit především ke zlepšení výuky budoucích profesionálních pilotů studujících obor Technologie provozu letecké techniky na Ústavu letecké dopravy. Systém by mohl sloužit k názorným ukázkám při studiu problematiky zaměřené na navigaci v letecké dopravě. Dalším z důvodů je modernizace koncepce leteckého simulátoru a co možná nejvíce zvýšit komfort a autentičnost ovládání systému FMS.

## **Annotation of thesis**

Němeček, O. *Proposal of FMS Module for PC – Flight Simulator Supplementation*: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of transport – Department of Air Transport, 2016, 58 pages.

Thesis head: doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.

This bachelor thesis focuses on software and hardware expansion and modernization of a flight simulator by the Institute of Air Transport at the Technical University of Ostrava on Flight Management System (FMS). The system should serve primarily to improve the training of future professional pilot students Aircrafts operation technology at the Department of air transport. The system could serve as illustrative examples when studying the issue focused on by air transport navigation. Another reason is to modernize the concept of a flight simulator as much as possible to increase comfort and authenticity control of the FMS system.

# Obsah bakalářské práce

<b>Seznam použitých zkratk</b> .....	<b>8</b>
<b>1. Úvod</b> .....	<b>12</b>
1.1. Cíle bakalářské práce .....	12
<b>2. Historie leteckých simulátorů</b> .....	<b>13</b>
<b>3. Seznámení s leteckým simulátorem na ÚLD</b> .....	<b>16</b>
3.1. Základní prvky sestavy PC/SIM 02 .....	18
<b>4. Popis vývoje systémů prostorové navigace</b> .....	<b>19</b>
4.1. Popis systémů RNAV .....	20
4.2. RNAV přiblížení a přílet.....	22
4.2.1. Přiblížení RNAV (GNSS) .....	23
4.3. Typy RNAV .....	25
4.3.1. B-RNAV .....	25
4.3.2. P-RNAV .....	26
4.4. Úroveň RNAV .....	27
4.4.1. 2D RNAV .....	27
4.4.2. 3D RNAV .....	27
4.4.3. 4D RNAV .....	28
4.5. Navigační výkonnost RNP.....	28
4.5.1. RNP RNAV .....	29
<b>5. FMS</b> .....	<b>30</b>
5.1. Základní části FMS .....	31
5.1.1. Flight Managment Computer (FMC).....	31
5.1.2. Control Display Unit (CDU) .....	31
5.2. Blokové schéma systému.....	32
5.3. Rozdělení databáze FMS .....	33
5.3.1. Výkonová databáze .....	33

5.3.2.	Navigační databáze.....	35
5.4.	Letový plán .....	36
5.5.	Určení polohy .....	36
5.6.	Vedení letadla v horizontální rovině (LNAV).....	37
5.7.	Vedení letadla ve vertikální rovině (VNAV).....	37
5.7.1.	Stoupání a cestovní let.....	37
5.8.	Sestup.....	38
<b>6.</b>	<b>Doplnění PC simulátoru o systém FMS .....</b>	<b>39</b>
6.1.	Návrh softwarového doplnění leteckého PC simulátoru .....	39
6.1.1.	Softwarové doplnění Microsoft Flight Simulator 2004 a 2010.....	39
6.1.2.	Doplnění o letecký simulátor Prepar 3D .....	44
6.2.	Návrh hardwarového doplnění leteckého PC simulátoru .....	45
6.2.1.	Hardwarový doplněk podle vzoru Garmin 430 .....	46
6.2.2.	Hardwarový doplněk CDU podle vzoru z Boeing 737 .....	50
6.3.	Aktualizace navigační databáze.....	55
<b>7.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>56</b>



## Seznam použitých zkratek

2D	Two Dimensional	Dvourozměrný
3D	Three Dimensional	Trojrozměrný
4D	Four Dimensional	Čtyřrozměrný
ACAS	Airborne Collision Avoidance System	Palubní proti srážkový maják
ACARS	Aircraft Communications Addressing and Reporting System	Digitální přenos dat
ADC	Air Data Computer	Aerometrický systém
AFCs	Automatic Flight Control System	Systém řízení letu
APP	Approach	Přiblížení
ATM	Air Traffic Management	Uspořádání letového provozu
B-RNAV	Basic RNAV	Základní typ RNAV
CDI	Course Deviation Indicator	Ukazatel odchylky od kurzu
CDU	Control Display Unit	Ovládací a zobrazovací jednotka
CI	Cost Index	Index nákladů
CMNPS	Canadian Minimum Navigation Performance Specification	Vzdušný prostor nad severní Arktidou a Kanadou
DME	Distance Measuring Equipment	Přístroj měřící vzdálenost
EFIS	Electronic Flight Instrument System	Elektronický systém zobrazení letových přístrojů
ETA	Estimated Time of Arrival	Čas předpokládaného příletu
FAF	Final Approach Fix	Fix konečného přiblížení
FMC	Flight Management Computer	Počítač řízení letu
FMS	Flight Management System	Systém řízení letu
FS	Flight Simulator	Letový simulátor
ft	Feet	Stopa

GNSS	Global Navigation Satellite System	Globální navigační satelitní systém
GPS	Global Positioning System	Globální polohovací systém
GPWS	Ground Proximity Warning System	Systém varování před nárazem do země
HSI	Horisontal Situation Indicator	Indikátor horizontální situace
HUD	Head Up Display	Průhledový displej
IAF	Initial Approach Fix	Fix počátečního přiblížení
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IDF	Initial Departure Fix	Fix počátečního přiblížení
IF	Initial Fix	Fix středního přiblížení
IFR	Instrument Flight Rules	Pravidla pro let podle přístrojů
ILS	Instrumental Landing System	Elektronický přístrojový přistávací systém
INS	Inertial Navigation System	Inerční navigační systém
IRS	Inertial Reference System	Inerční referenční systém
LCD	Liquid Crystal Display	Obrazovka z tekutých krystalů
LNAV	Lateral Navigation	Navigace v horizontální rovině
LRNS	Long-Range Navigation System	Navigační systém dalekého dosahu
MAPt	Missed approach point	Bod zahájení postupu nezdařeného přiblížení
MDA	Minimum Descend Altitude	Minimální výška klesání
MFD	Multi-Function Display	Multifunkční displej
NASA	National Aeronautical and Space Administration	Národní úřad pro letectví a kosmonautiku
NAT MNPS	North Atlantic MNPS	Severoatlantický vzdušný prostor

ND	Navigation Display	Navigační displej
NDB	Non-Directional Beacon	Všesměrový radiomaják
NM	Nautical Mile	Námořní míle
PBN	Performance Based Navigation	Navigační výkonnost
PC	Personal Computer	Osobní počítač
P-RNAV	Precision RNAV	přesný typ RNAV
QDM	Magnetic Heading	Magnetický kurs
R.A.F.	Royal Air Force	Královské letectvo
RNAV	Area Navigation	Prostorová navigace
RNP	Required Navigation Performance	požadovaná navigační přesnost
SID	Standard Instrument Departure	Standardní přístrojový odlet
STAR	Standard Instrument Arrival	Standardní přístrojová příletová trať
TCAS	Traffic Collision Avoidance System	Palubní proti srážkový systém
TMA	Terminal Manouvering Area	Koncová řízená oblast
ÚLD	Department of Air Transport	Ústav letecké dopravy
VNAV	Vertical Navigation	Navigace ve vertikální rovině
VOR	VHF Omnidirectional Range	Všesměrový maják VKV
WPT	Waypoint	Traťový bod

# 1. Úvod

V dnešní době se na Ústavu letecké dopravy na VŠB-TUO nachází několik variant leteckých PC simulátorů, které slouží převážně pro výuku studentů, kteří studují obory Technologie provozu letecké techniky (piloti) a Technologie letecké dopravy. Na daných typech počítačových simulátorů se lze seznámit se základním ovládáním letounu a jeho řízením. Studenti si mohou dále prakticky ukázat, například jak na letadle pracují jednotlivé přístroje nebo princip navigace za pomoci jednotlivých navigačních systémů. Pro studenty, kteří se chtějí stát profesionálními piloty, je nezbytné, aby se na těchto simulátorech zdokonalovali v létání podle přístrojů za snížené viditelnosti, a také se seznámily s problematikou létání ve více členné posádce v letecké dopravě.

Mým úkolem je navrhnout modernizaci leteckého počítačového simulátoru (PC/SIM02), který je umístěn v prostorách Ústavu letecké dopravy na desátém patře budovy Rektorátu VŠB-TUO v Ostravě – Porubě. Stávající simulátor bych chtěl doplnit o systém FMS, který by byl velkým přínosem pro výuku budoucích žáků (pilotů). Tento systém by mohl být využíván pro názornou ukázkou v několika předmětech, které se vyučují na ÚLD např. Navigace 3, Přístrojové vybavení letadel 2 a Základy letu 3. Hlavní přínos tohoto systému by byl především pro předmět Navigace 3, kde by sloužil pro názornou ukázkou prostorové navigace RNAV.

## 1.1. Cíle bakalářské práce

Tato práce si klade následující cíle:

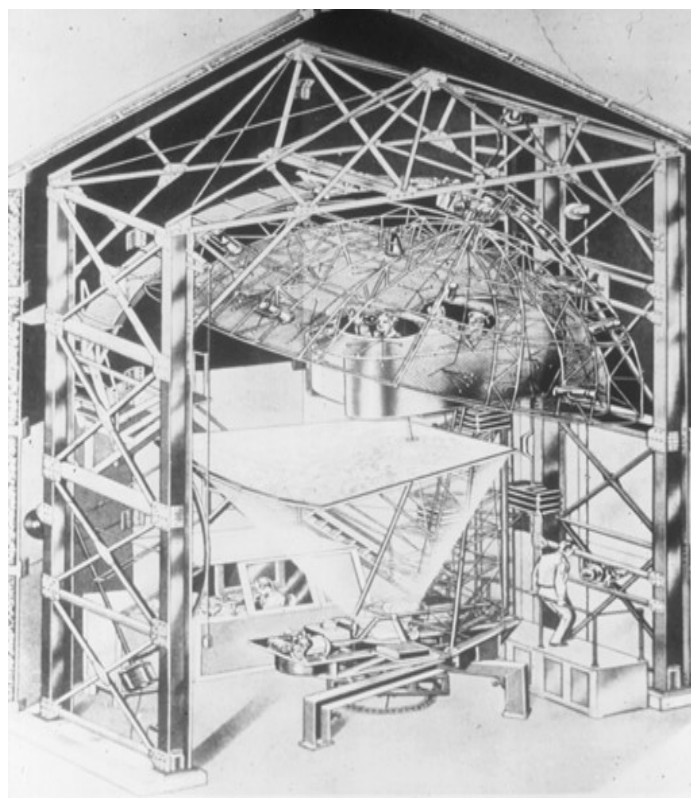
- navrhnout možnost doplnění PC – simulátoru o systém FMS
- modernizace bude mít za cíl zlepšit výuku pilotů (žáků) na Ústavu letecké dopravy v oblasti navigace v letecké dopravě.

## 2. Historie leteckých simulátorů

Už v začátcích letectví se vynálezci zabývali myšlenkou, jak vycvičit piloty aniž by riskovali vlastní život či životy dalších účastníků letového provozu. Snaha nahradit výcvik pilotů ve vzdušném prostoru vedla ke vzniku letového simulátoru. Dnes je tomu tak především z důvodu vysokých nároků na leteckou bezpečnost.

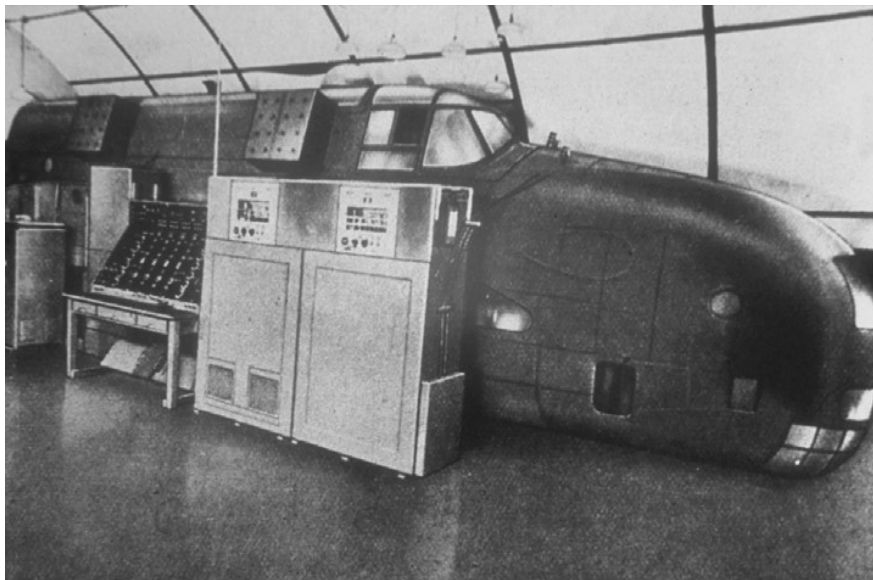
Prvním takovým zařízením, které mělo pomoci pilotům s výukou základů létání, bylo zařízení s názvem *Antoinette Barrel Trainer*. Hlavní funkcí zařízení bylo naučit piloty ovládání letounu během letu a především bylo úkolem naučit základní určování směru letu. Konstrukce vznikla v roce 1909. [1]

Další významný letecký trenažér vznikl v období druhé světové války. Byl nazýván jako *Celestial navigation trainer*. Jeho zkonstruování a uvedení do provozu bylo v roce 1939 vojenskou leteckou jednotkou R.A.F. Konstrukce trenažéru byla určena pro posádky bombardérů a konkrétně řešena pro pilota, navigátora a bombometčíka. Simulátor byl konstruován jako vysoká budova o výšce 14 metrů. [1]



Obr. č. 1 - *Celestial navigation trainer* [2]

Druhým zařízením pro výcvik pilotů britské armády byl *Silloth Trainers*. Sloužil k natrénování základních úkonů za letu a byl to první trenažér sloužící k simulaci poruch letadlových systémů. Konstrukční provedení bylo zhotoveno jako model skutečného letadla. [1]



Obr. č. 2 - *Silloth trainers* [2]

Následující trenažér měl i systém umožňující nácvik poruch elektrických systémů. V průběhu války se začaly zavádět analogové letecké simulátory ovládající pohyb řídicí páky, odezvu do řízení a funkci palubních přístrojů. [1]

S příchodem proudových motorů vznikly potíže se spolehlivostí a přesností leteckých analogových simulací. Vzhledem k rostoucím nárokům na přesnost a schopnosti těchto zařízení byl nutný vývoj digitálních simulátorů. Jejich vznik začal kolem šedesátých let. Novinkou zde bylo použití promítání terénu s využitím televizních kamer a modelu krajiny. Vývojem digitálních simulátorů se zabývala především NASA, která využívala simulátor pro výcvik astronautů. [1]

V současnosti jsou letecké simulátory schopné simulovat jakoukoliv denní i noční dobu, roční období a také počasí. Lze zobrazovat i aktuální počasí získané z meteorologických radarů, které jsou následně implementovány do projekce obrazu. U těchto simulátorů je možnost simulovat jakoukoliv závadu za letu v různém čase a při různých fázích letu. Instruktor má možnost si zpětně přehrát nahrávku letu a analyzovat tak chování posádky. [1]



*Obr. č. 3 - FFS Airbus A320 [11]*

Dnes je možné díky moderním leteckým simulátorům, které dosáhly velké přesnosti a vysoké úrovně provedení dokončit typový výcvik, aniž by pilot musel usednout do skutečného letounu.

### **3. Seznámení s leteckým simulátorem na ÚLD**

Na Ústavu letecké dopravy VŠB-TUO se nacházejí tři letecké simulátory určené pro výuku studentů leteckých oborů. Každý simulátor je jinak konstrukčně řešen a realizován z důvodu náročnosti výuky prováděné na daném simulátoru a kladených nároků na potřebné vybavení leteckého simulátoru pro splnění požadavků výuky. Simulátory jsou označeny jako:

- A) PC/SIM 01
- B) PC/SIM 02
- C) PC/SIM 03

Nás bude zajímat především počítačový simulátor PC/SIM 02, který je umístěn v místě Ostrava – Poruba v budově Rektorátu VŠB-TUO na desátém poschodí na učebně č. 1036. Tento simulátor je využíván pro seznámení studentů se základním ovládáním a chováním letadel. Studenti si zde mohou vyzkoušet, jak se provádí vzlet, let po okruhu a přistání zpět na letiště. Výcvik se provádí na letounu Cessna 172.

#### **A) PC/SIM 01**

Simulátor je realizován pomocí dvou počítačů, každý z nich má jeden monitor a joystick. Slouží k výuce létání podle přístrojů. Studenti se zde naučí základní ovládání simulátoru, rozložení přístrojů na palubní desce, jejich ovládání, indikaci a úkony pilota za letu. [3]

#### **B) PC/SIM 02**

Jak již bylo zmíněno rozšíření se bude týkat tohoto simulátoru, který bude v práci nejvíce zmiňován. Jeho konstrukční řešení je realizováno třemi velkými obrazovkami nabízející široké zorné pole. Díky této realizaci simulátoru lze snáze navigovat pohledem ven z kabiny letadla. Simulátor je vhodný především pro výuku srovnávací navigace, navigace po letové trati i pro lety podle přístrojů. [3]





*Obr. č. 4 - PC - SIM 02 na Ústavu letecké dopravy VŠB*

### **C) PC/SIM 03**

Je konstrukčně tvořen pro vícečlennou posádku jako samostatná kabina. V kabině jsou umístěna dvě místa pro posádku a každý pilot má své řízení, především z důvodu nácviku létání ve vícečlenné posádce (kapitán letadla a druhý pilot). Před kabinou je promítán obraz za pomoci tří dataprojektorů na válcovou plochu kolem kabiny, tato metoda zvyšuje pocit reálného letu. Na tomto počítačovém simulátoru lze nacvičovat jak už zmíněné létání ve vícečlenné posádce, dále létání podle přístrojů IFR i nácvik komunikace a létání podle standardních provozních postupů. [3]



*Obr. č. 5 - PC - SIM 03 na Ústavu letecké dopravy VŠB*

### 3.1. Základní prvky sestavy PC/SIM 02

Počítačová sestava leteckého simulátoru PC/SIM 02 na ÚLD je zkonstruována z několika základních prvků, které jsou rozděleny podle provedení na hardwarové a softwarové. Sestavený simulátor je znázorněn na Obr. č. 4 na straně 15. Na obrázku lze také vidět rozmístění jednotlivých hardwarových prvků simulátoru.

Hlavní částí simulátoru je stolní počítač, sestavený přesně podle potřeby leteckého simulátoru. Počítač je sestaven z několika hardwarových celků, které jsou uvedeny v tabulce č. 1. V počítači je nainstalován operační systém Microsoft Windows XP, ten je dnes již zastaralým a nepodporovaným systémem. Jako systém leteckého simulátoru je zde využíván software Flight Simulátor 2004. Na trhu je k dostání i novější verze, ale pro dosavadní výuku studentů byla zcela dostačující starší verze systému.

Je též tvořen třemi monitory sestavenými tak aby tvořili velké zorné pole. Jako poslední část simulátoru je ovládací prvek konstrukčně řešen jako berany sloužící pro ovládání pohybu křidélek, výškového kormidla, směrového kormidla, podvozku a mechanizace křídla.

Sestava leteckého simulátoru:

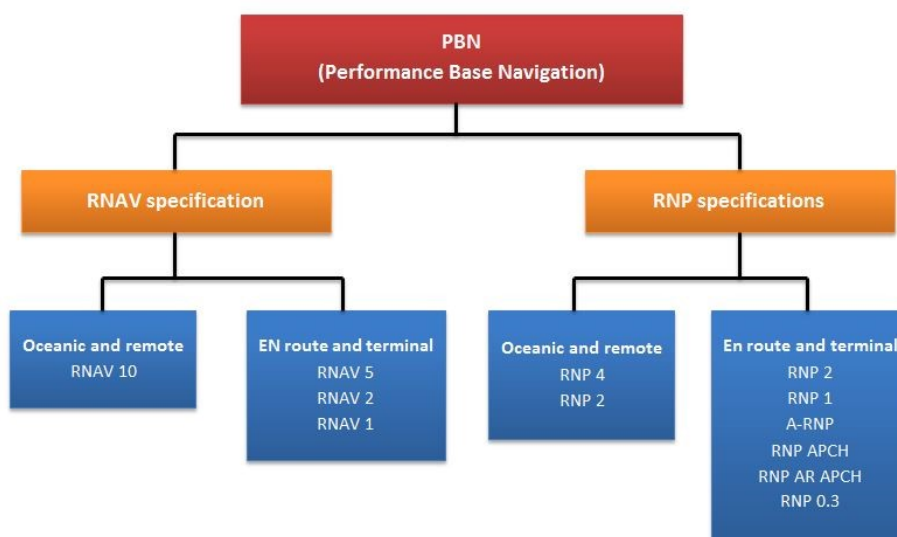
- stolní počítač
- 3krát monitor o velké úhlopříčce
- klávesnice a myš
- letecký ovladač Eclipse Yoke USB (berany)

*Tabulka č. 1: Základní hardwarové prvky počítačové sestavy*

	Operační systém	Procesor	Operační paměť RAM	Grafická karta	Kapacita pevného disku	Letecký simulátor
<b>PC/SIM 02</b>	Windows XP	1,6 GHz	2048 MB	Ati Radeon 2x512 MB	120 GB	FS 2004

## 4. Popis vývoje systémů prostorové navigace

Prostorová navigace je rozdělena na dvě základní specifikace lišící se především podle úrovně přesnosti. První a nejméně přesnou úrovní specifikace prostorové navigace byl systém RNAV. Později byla zavedena prostorová navigace RNP s vyšší úrovní přesnosti než RNAV. Dnes se zavádí koncepce PBN, kterou vytvořila organizace ICAO z důvodu zajištění celosvětového standardu na požadavky RNAV a RNP. Koncepce zlepší výkonnost v rámci přesnosti, integrity, spojitosti a dostupnosti. PBN je jeden z pilířů, které tvoří nový koncept vzdušného prostoru. Mezi další pilíře patří komunikace, sledování a ATM. Koncepce PBN je složena ze třech částí. Jednotlivé části jsou rozděleny na navigační požadavky, navigační infrastrukturu a aplikaci navigace. [9]



Obr. č. 6 - Schéma prostorové navigace

Systém prostorové navigace RNAV slouží k navigaci letadel podle přístrojů IFR a k navigaci na požadované trati s větší přesností bez potřeby létání od jednoho pozemního radiomajáku k druhému radiomajáku například od VOR k VOR. Díky prostorové navigaci lze využívat větší hustoty vzdušného prostoru. To je umožněno především z důvodu menších rozestupů mezi letadly jak vertikálně tak horizontálně.

Let po RNAV trati je realizován pomocí navigačních prostředků umístěných na povrchu země, na oběžné dráze Země, nebo vlastním vybavením letadla. V letectví se využívá kombinace těchto navigačních prostředků, umožňující létání po předem zvolených tratích tvořených přesně definovanými body. Pilot zadává body z letového plánu do systému FMS, který tyto body zpracuje, vyhodnotí a vytvoří požadovanou letovou trať. [4]

V případě provádění letů RNAV je nutnost letadlo speciálně vybavit dle požadavků předpisu z důvodu certifikace pro lety v různém vzdušném prostoru, například pro provoz v Severoatlantickém vzdušném prostoru NAT MNPS. V současném letectví má většina letadel systém prostorové navigace zařazený do systému FMS. Systém FMS využívá vstupní signály ze zdrojů (VOR, DME, INS, IRS, GPS apod.). [4]

RNAV určuje:

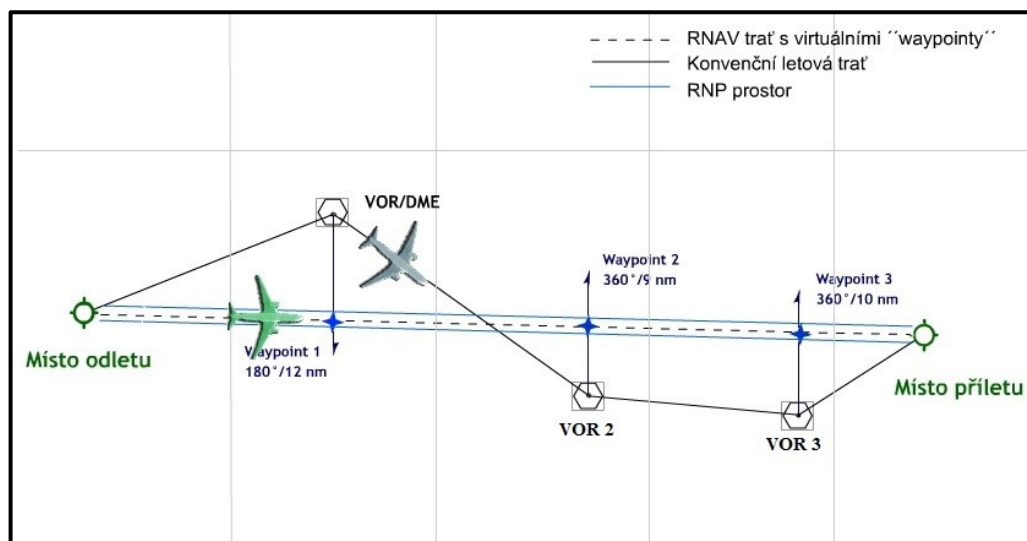
- polohu letadla
- indikuje směr a vzdálenost k zvolenému traťovému bodu
- indikuje rychlost případně čas k dosažení dalšího bodu na trati
- Určení polohy letounu, kurz a předpokládaný čas příletu ETA [4]

Vzdušný prostor využívající prostorovou navigaci RNAV je například:

- Evropský vzdušný prostor – tento prostor zpravuje Eurocontrol
- CMNPS - lety přes Severní Arktidu a Kanadu
- NAT MNPS - lety přes Severoatlantický vzdušný prostor [4]

#### **4.1. Popis systémů RNAV**

RNAV tratě se konstruují ve 2D prostoru. Při konstrukci trati od majáku k majáku, nebo jako v případě na obr. č. 7, od bodu odletu do bodu příletu. Existují dvě možnosti jak vytvořit letovou trať. První konstrukce je tvořena jako let od majáku k majáku. Na obr. č. 7 je tato trať znázorněna jako černá plná čára a vytvořena jako let z bodu místa odletu přes VOR 1 dále na VOR 2 a VOR 3 až do bodu místa příletu. Jako druhou možnost může pilot zvolit trať RNAV, ale jen tehdy pokud má letadlo patřičnou výbavu. Konstrukce trati je tvořena pomocí traťových bodů (Waypoint), které vytvoří letovou trať stejně jako na obr. č. 7, kde je trať tvořena třemi traťovými body. Díky tomu se sníží doba letu a spotřeba paliva.



Obr. č. 7 - Tvorba RNAV tratě [9]

Systém FMS má tratě pro RNAV uloženy ve své paměti. Kontrolu trati může pilot provést pomocí mapy s tratěmi prostorové navigace. Tyto mapy jsou vydávány jako mapa spodního vzdušného prostoru a mapa horního vzdušného prostoru.

Body po trati jsou tvořeny radiomajáky (VOR, VOR/DME a NDB). Tyto body jsou označeny třemi písmeny (HLV, VOZ, OTA atd.). Další body, které se zobrazují na mapách vzdušného prostoru se nazývají fixy a jejich označení tvoří pětimístný kód (BAXEV nebo PR606). [4]

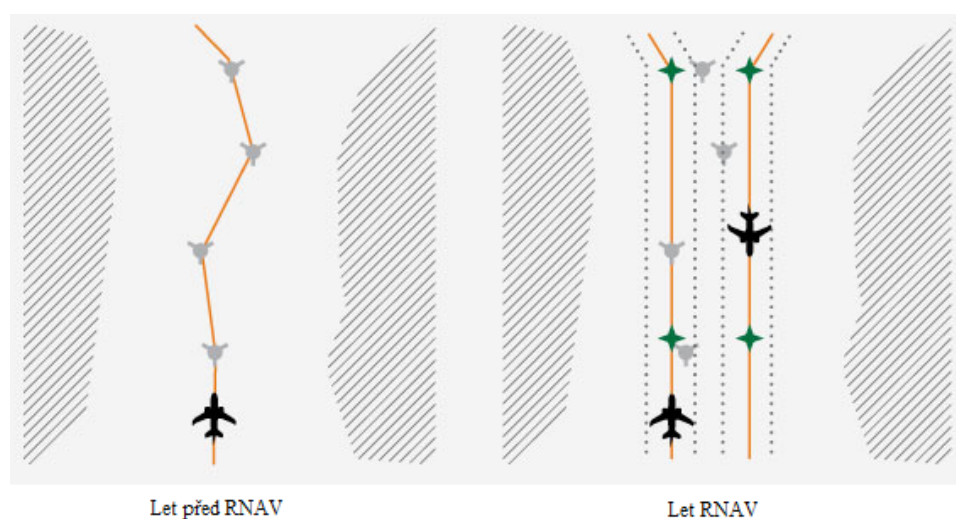
#### Příklad fixních bodů:

- Vyčkávací bod (holding FIX)
- FAF – bod konečného přiblížení (Final Approach Fix)
- IAF – bod počátečního přiblížení (Initial Approach Fix)
- IDF – bod počátku odletu (Initial Departure Fix)
- IF - bod středního přiblížení (Intermediate Fix)
- MAHF – bod vyčkávání při nezdařeném přiblížení (Misses Approach Holding Fix) [4]

Systém FMS má všechny letové mapy uložené ve své paměti. Aktualizace informací o tratových bodech a navigačních údajích se provádí každých 28 dní. Povinností posádky letounu je udržovat systém aktuální, aby nedocházelo k chybám v navigaci.

Pomocí traťových bodů se tvoří let po navigačních tratích (en-route), nebo odletové tratě SID a příletové tratě STAR. V RNAV mapách se neudává přesný kurz (heading), ale zobrazuje pilotovi magnetický směrník (track), podle kterého má pilot letět. [4]

Letadla používající systém RNAV nemají žádné zařízení pro kontrolu vzdáleností ani varovný systém, který by upozornil na nedostatečnou vzdálenost mezi jednotlivými letadly. Pro zajištění vyšší bezpečnosti letového provozu je používán systém TCAS neboli ACAS. Tento systém umístěný na palubě letadla komunikuje s provozem kolem něj a slouží především k varování pilota před kolizí s dalšími letadly v jeho blízkosti. [4]



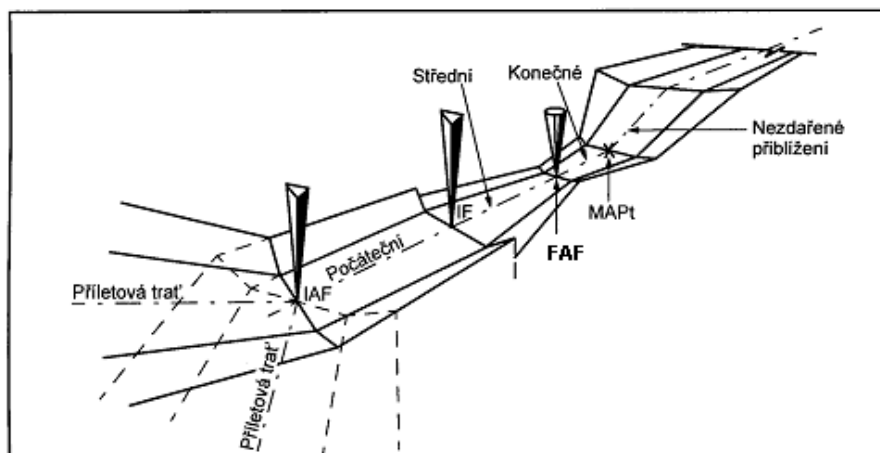
Obr. č. 8 - Trať před RNAV a po RNAV [7]

Trasa letu před a po RNAV je znázorněna na obr. č. 8 kde lze vidět, že trasa bez použití prostorové navigace RNAV je delší a spotřebuje více paliva a více času. Na některých místech světa je náročné realizovat lety bez použití RNAV jako jsou například rozlehlé plochy, neosídlená místa nebo velké vodní plochy.

## 4.2. RNAV přiblížení a přílet

Přístrojové přiblížení na přistání má několik fází, které se dělí na několik fixních bodů umístěných na trati přístrojového přiblížení. Tyto fixní body jsou označeny jako IAF, IF, FAF a MAPt. Každý z úseku přiblížení má stanovený kurz, výšku a polohu. Všechna letiště, na kterých je možné provádět přesné přiblížení mají stanoveny jednotlivé kategorie podle typu letadel (A až H) a podle kategorií se vytvářejí příletové mapy STAR. [4]

Kategorie letadel jsou vytvořeny z důvodu rozdílných parametrů letadel, jako je například rychlost, hmotnost a výkon letadel. [4]



Obr. č. 9 - Úseky přístrojového přiblížení [5]

Použitím příletových tratí RNAV se šetří náklady na provoz letadel, není tak náročný na životní prostředí a zmenší se hlukové zatížení v okolí letiště. To je způsobeno postupným klesáním díky volnoběžnému chodu pohonných jednotek. Piloti také mohou postupně klesat z cestovní hladiny až na fixní bod konečného přiblížení FAF a nemusejí klesat po tzv. schodech. Zmenšily se také nároky na komunikaci mezi piloty a řidiči letového provozu. [4]

Základní typy příletových tratí

- Open RNAV STAR – let na úsek konečného přiblížení vektorováním nebo podle příletových map.
- Closed RNAV STAR – let po fixních bodech až do úseku konečného přiblížení

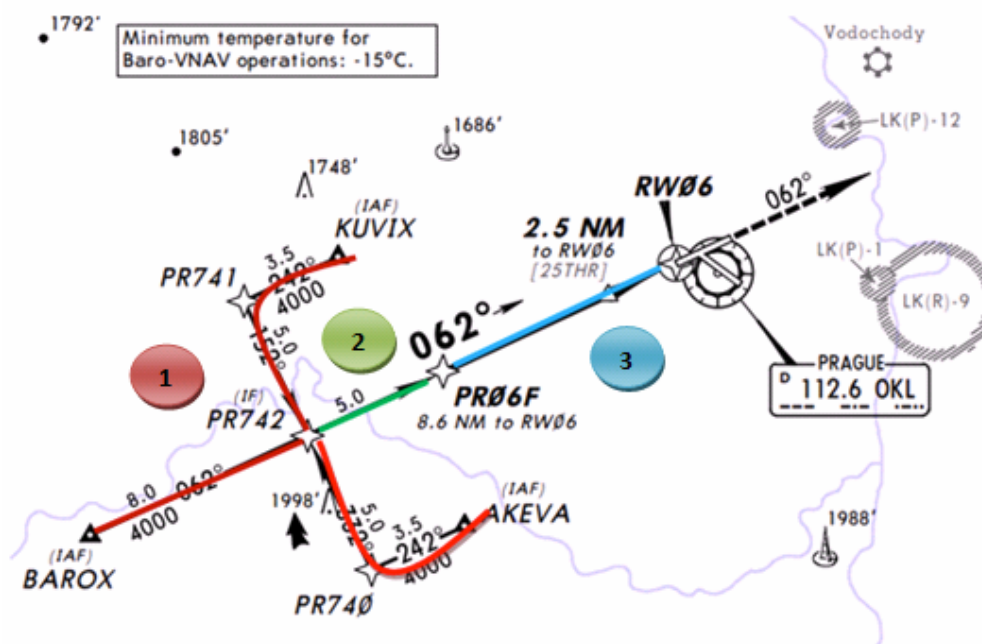
#### 4.2.1. Přiblížení RNAV (GNSS)

RNAV (GNSS) přiblížení mohlo vzniknout zásluhou celosvětovému systému družicové navigace GPS, který díky postupnému vývoji dosáhl velké přesnosti a hlavně spolehlivosti. Pro GNSS přiblížení je nezbytné mít na palubě letadla přijímač GPS. Nejprve bylo zavedeno do provozu horizontální vedení značené jako LNAV a velikost minimální výšky pro klesání MDA. Následně se zavedlo přiblížení LNAV/VNAV. [4]



Při srovnání přiblížení podle RNAV a RNAV GNSS lze vidět zřetelný rozdíl v minimální výšce rozhodnutí na přistání. V případě přiblížení podle RNAV pomocí ILS na dráhu 06 na letišti v Praze je minimální výška rozhodnutí 1 402 ft, oproti tomu RNAV GNSS má na stejném letišti a dráze výšku rozhodnutí 1 590 ft. [4]

V případě dráhové dohlednosti jsou rozdíly ještě zřetelnější. Při použití přiblížení RNAV na ILS je to 750m a u RNAV GNSS dosahuje dráhová vzdálenost až 1 700m. [4]



Obr. č. 10 - GNSS přiblížení na dráhu 06 v Praze [4]

### Počáteční přiblížení – úsek z IAF do IF

Pro přílet na mezinárodní letiště v Praze na dráhu 06 musíme nejprve přelétnout bod IAF tvořený třemi body (BAROX, KUVIX nebo AKEVA). Tyto body se volí v závislosti na tom, z kterého směru letadlo přilétá. Z toho plynou tři možnosti jak se dostat do bodu IF znázorněného na Obr. č. 10, kde je vyznačen jako PR742. [4]

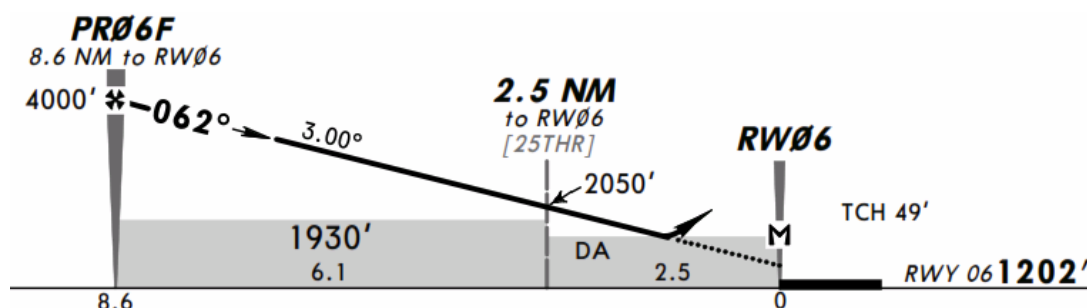
### Střední přiblížení – úsek z IF na FAF

Je to úsek o vzdálenosti 5 NM s magnetickým kurzem 062°. Bod FAF se na mapě značí PR06F a vzdálenost od prahu dráhy 06 je 8,6 NM. [4]



## Konečné přiblížení – úsek z FAF do MAPt

V posledním úseku přiblížení se letadlo srovná do osy dráhy a provádí klesání pod úhlem  $3^\circ$  z výšky 4 000 ft až do výšky 2 050 ft. Minimální letová výška je 1 930 ft a minimální výška nad překážkami nesmí být nižší než 492 ft. [4]



Obr. č. 11 - Profil úseku mezi FAF a MAPt na dráhu 06 v Praze

## 4.3. Typy RNAV

Systém prostorové navigace RNAV lze rozdělit na dva základní typy, které se liší především v úrovni přesnosti navigace. Typy RNAV tratí se dělí dle přesnosti na:

- B-RNAV (Základní RNAV)
- P-RNAV (Přesná RNAV)

Ve vzdušném prostoru České republiky se tratě RNAV uplatňují nad letovou hladinou FL95. Nad touto hladinou musejí být traťové lety vybaveny B-RNAV. Druhá možnost prostorové navigace P-RNAV se používá v TMA letišť pro odlety a přílety. [7]

### 4.3.1. B-RNAV

Základní typ RNAV prostorové navigace se uplatňuje především v kontinentálním prostoru, nebo nad oceány a odlehlými oblastmi. Než se posádka rozhodne vstoupit na trať B-RNAV, tak si musí být jistá, že trať splňuje všechny povolení a vybavení na palubě nevykazuje žádnou závadu, která by snížila navigační výkonnost RNP 5. [8]

## **Kontinentální prostor**

V Evropském vzdušném prostoru je povinností všech letadel s kapacitou nad třicet cestujících užívat prostorové navigace B-RNAV. Letadla využívající B-RNAV tratě na Evropském kontinentu musejí mít nezbytné vybavení na palubě letadla. [4]

## **Oceány a odlehlé oblasti**

Tratě prostorové navigace B-RNAV se používají při letech přes oceány, hory, pouště, pralesy a další odlehlé oblasti. Pro lety přes tyto území je nezbytné mít potřebné vybavení pro dálkovou navigaci LRNS. Tyto palubní systémy musejí splňovat výkonnostní požadavky RNP5. [4]

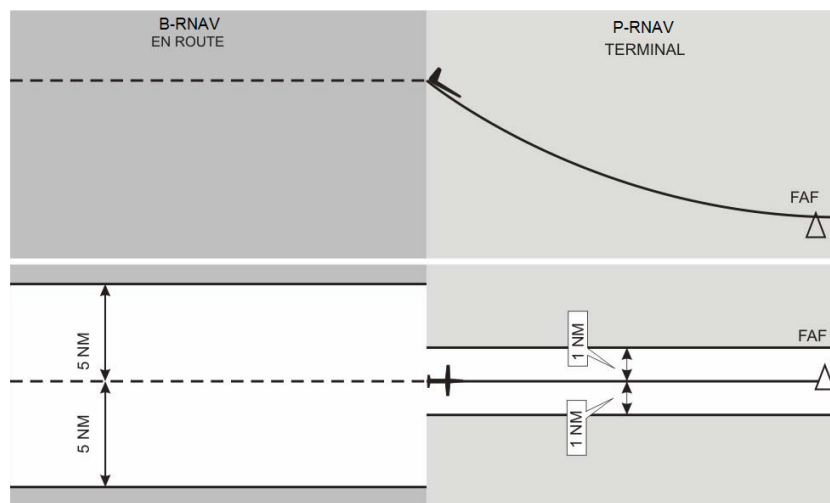
Přesnost B-RNAV musí být minimálně  $\pm 5$  NM ( $\pm 9,26$  km) od osy tratě letu a to nejméně po dobu 95% celkového času letu. [8]

### **4.3.2. P-RNAV**

Je to přesná prostorová navigace RNAV. Letadla při využívání tratí P-RNAV na Evropském kontinentu musejí dosahovat neustálé navigační výkonnosti RNP 1. To znamená, že minimální přesnost musí být  $\pm 1$  NM ( $\pm 1,85$  km) od osy tratě letu a to nejméně po dobu 95% celkového času letu. [8]

Systém P-RNAV se využívá ve všech úsecích letu. Od odletové tratě SID, přes let po trati (en-route), v koncové řízené oblasti (TMA) a pro počáteční přiblížení na přistání. Přesná prostorová navigace se nevyužívá ke konečnému přiblížení na přistání a nezdařené přiblížení z důvodu nedostatečné směrové stability letadla. [4]

Používáním přesné prostorové navigace se zmenší rozestupy mezi letadly. Tím lze dosáhnout zvýšení kapacity vzdušného prostoru. Další výhodou přesné prostorové navigace je snížení spotřeby paliva, optimalizace profilu letu a snížení hlukového zatížení. Také ubývá potřeba radarového vektorování na přistání a tím se snižuje zatížení letových posádek a řízení letového provozu.



Obr. č. 12 - Navigační přesnost B-RNAV a P-RNAV [8]

## 4.4. Úroveň RNAV

- 2D RNAV – prostorová navigace je prováděna pouze v horizontální rovině LNAV
- 3D RNAV – prostorová navigace řízená jak v horizontální rovině tak i ve vertikální
- 4D RNAV – vedení v 3D prostoru a čase [4]

### 4.4.1. 2D RNAV

Je to prostorová navigace v horizontální rovině 2D. Zahrnuje postupy na přiblížení Non-precision RNAV (GNSS), které jsou definovány minimální výškou pro klesání MDA.

Poloha letadla se určí pomocí systému polárních souřadnic (úhel a vzdálenost od zařízení VOR/DME). Pilot si stanoví požadovanou trať, na které si následně zvolí traťové body určené pomocí vzdálenosti a směru od VOR/DME. QDM a vzdálenost k traťovému bodu se vypočte a výsledné hodnoty se zobrazují na CDI nebo HSI. [4]

### 4.4.2. 3D RNAV

Je to prostorová navigace v 3D prostoru. Zde spadají postupy pro přiblížení podle přístrojů v rámci systému RNAV. Řízení je prováděno jak ve vertikální tak i v horizontální rovině. Jedná se tedy o prostorovou navigaci VNAV i LNAV. [4]

Na palubě letadla musejí být umístěny potřebné systémy a ukazatele pro indikaci odchylky od kurzu CDI a horizontální zobrazení HSI, pilotovi je velikost odchylky indikována v námořních mílích. [4]

#### 4.4.3. 4D RNAV

4D RNAV je schopen orientace jak v horizontální tak i ve vertikální rovině. Hlavním rozdílem oproti předchozí úrovni prostorové navigace je navíc funkce časování. [4]

### 4.5. Navigační výkonnost RNP

RNP je vyjádřeno jako maximální hodnota celkové chyby měření polohy. Zde jsou zahrnuty chyby palubního přijímače, chyba zdroje signálu, chyba navigačního displeje, chyba navigačního senzoru a celková chyba systému. Díky možnosti přesného manévrování s letounem tak, aby se pohyboval ve správné poloze po zakřivené dráze lze snižovat hluchost a vyhýbání se obydleným oblastem. Výhodou je snižování rozestupů letadel ve vzdušném prostoru. To přináší zhuštění provozu, snížení spotřeby paliva a zkrácení zpoždění. [9]

Úroveň RNP

- RNP 1 – přesnost navigačních prostředků do 1 NM, uplatňuje se v oblasti letiště
- RNP 4 - přesnost navigačních prostředků do 4 NM, lety po trati ATS v kontinentálním vzdušném prostoru s velkým provozem
- RNP 12,6 - přesnost navigačních prostředků do 12,6 NM, oceánský vzdušný prostor
- RNP 20 - přesnost navigačních prostředků do 20 NM, kontinentální a oceánský vzdušný prostor s nízkým provozem [4]

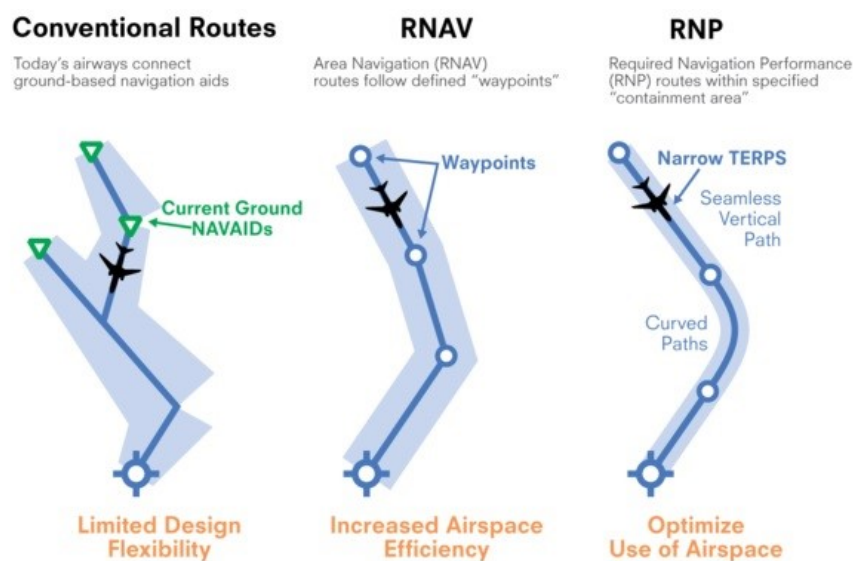
Příklady použití:

- Basic RNP 1 – příletové a odletové procedury na letišti s malým provozem
- Precision RNP 1 APP – procedury počátečního, středního a nezdařeného úseku přiblížení (konečné přiblížení má hodnotu  $\pm 0,3$  NM) [4]

### 4.5.1. RNP RNAV

Cílem je zvýšení kapacity vzdušného prostoru a zvýšení bezpečnosti provozu. Přesnosti jsou rozděleny na několik druhů od RNAV 1 až po RNAV 10. Letadlo se musí nacházet uvnitř stanoveného prostoru po dobu nejméně 95% doby letu. [4]

RNP/RNAV snižuje rozestupy letadel ve vertikální a horizontální rovině, vytvořit více paralelních tratí a více přímých tratí. Cílem je vytvoření nových postupů přesného přiblížení. [4]



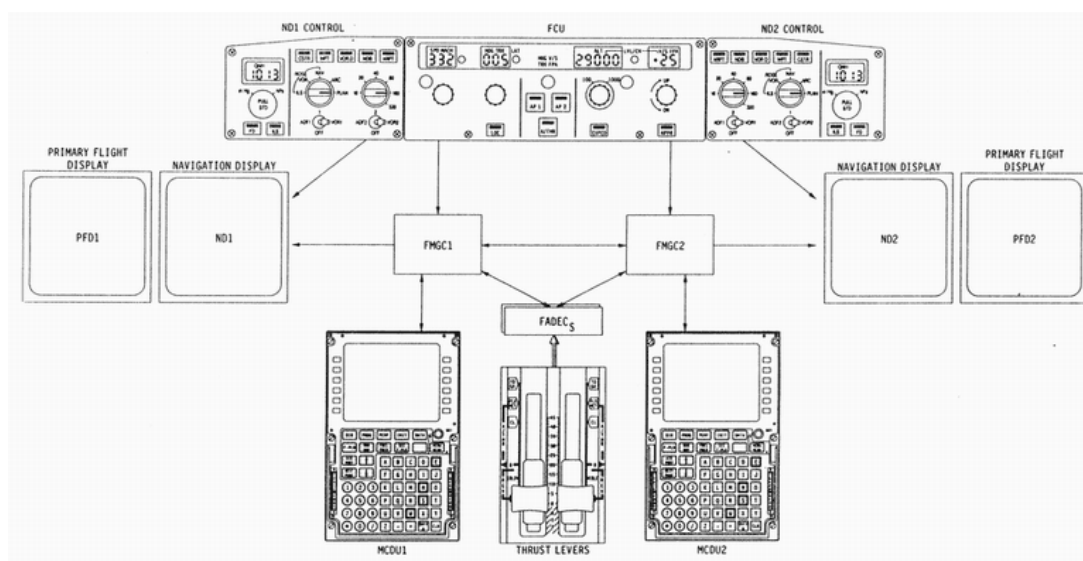
Obr. č. 13 – Optimalizace trati RNP [4]

## 5. FMS

V moderních letadlech je funkce prostorové navigace RNAV realizována systémem FMS. Tento systém za letu plní širokou škálu úkonů jako je vedení po letových tratích, zadávání zvoleného letového plánu, výpočet rychlostí pro různé režimy letu, čímž se snižují nároky na zátěž posádky. Primární funkcí systému je řízení letounu podle zadaného letového plánu vkládaného do systému před vzletem letadla a lze ho měnit v průběhu letu.

Navigace je prováděna pomocí samostatných navigačních prostředků jako je GPS nebo INS/IRS. Posádka se systémem FMS komunikuje pomocí CDU obr. č. 15, a potřebné informace jako je letový plán se zobrazují na obrazovkách systému EFIS jako je ND (navigační displej) nebo také na MFD (multifunkční displej). [10]

Technická realizace systému FMS se konstrukčně liší podle typu letounu a především podle výrobce daného systému, ale základní princip funkce systému musí zůstat zachována pro všechny verze systému.



Obr. č. 14- Schéma systému FMS [12]

## 5.1. Základní části FMS

### 5.1.1. Flight Management Computer (FMC)

Počítačový systém FMC kombinuje data zadaná pilotem pomocí CDU s daty z dalších vnějších zdrojů, jako jsou navigační informace, výstupy ADC, informace od pohonných jednotek atd. Systém určí výpočtem současnou polohu a na základě přesné polohy určí hodnoty nastavení podélného sklonu, náklonu a tah pohonné jednotky předávané do PMC a AFCS. Dále také zobrazuje posádce informace na palubních obrazovkách.

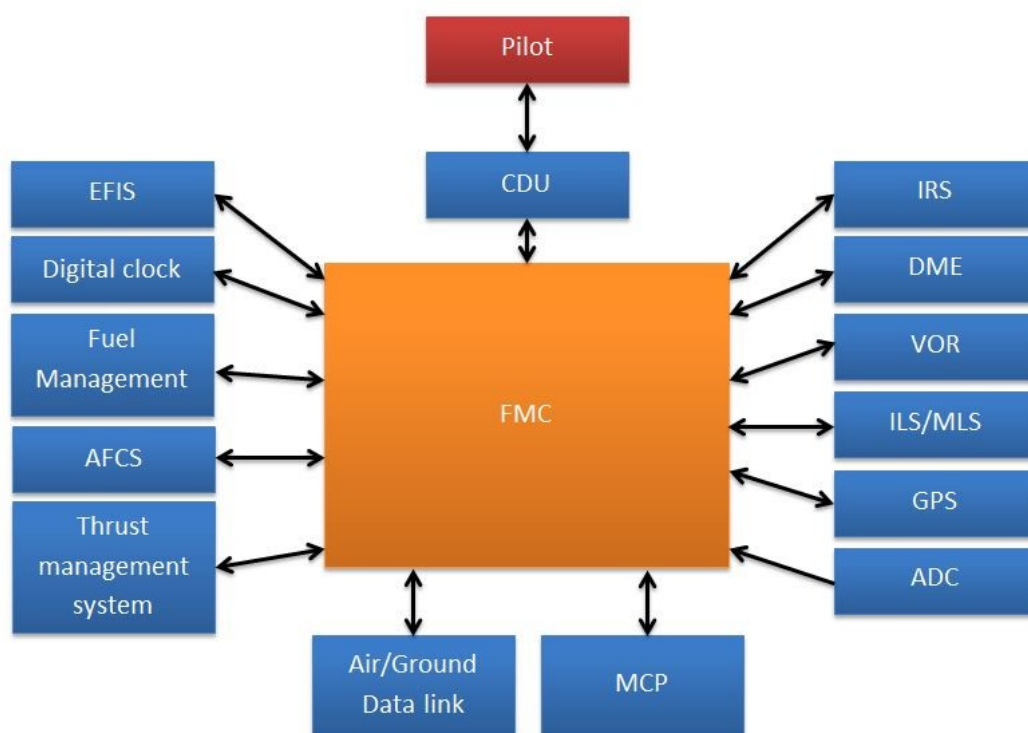
### 5.1.2. Control Display Unit (CDU)

Slouží pro komunikaci pilotů s počítačem FMC přes různě upravené tabulkové formáty, podávají pilotům všechny potřebné informace. Systém začíná pracovat již před vzletem a pracuje až do úplného ukončení letu. Vzhledem na náročnost výpočtů je velmi důležitá rychlost a především spolehlivost práce celého systému. Konstrukční řešení CDU se liší především podle výrobce systému a může být realizován jako malý displej a klávesnice obr. č. 15 nebo také jako dotyková obrazovka.



Obr. č. 15 - ovládací jednotka systému FMS (CDU) [4]

## 5.2. Blokové schéma systému



Obr. č. 16 - Blokové schéma FMS

- **Pilot** – zadává informace potřebné pro správnou funkci systému
- **CDU** – zařízení pro zadávání požadavků posádky a informace se zobrazují na displeji
- **FMC** – počítačový systém, který provádí navigační výpočty na základě vstupních informací a vyhodnocuje požadavky posádky
- **IRS** – systém nezávislé navigace
- **DME** – radionavigační systém pro určení vzdálenosti
- **VOR** – všesměrový radiomaják
- **ILS/MLS** – systém přesného přiblížení na přistání
- **GPS** – celosvětový polohovací systém družicové navigace
- **ADC** – počítač aerometrických dat
- **MCP** – panel ovládání systému autopilota
- **Air/Ground Data link** – komunikační systém
- **Thrust management system** – systém ovládání tahu pohonných jednotek (Autothrottle)
- **AFCS** – systém automatického řízení letadla a vyhodnocení informací pro správnou činnost systému



- **Fuel Management** – systém snímající spotřebu, průtok, množství paliva v nádržích a dalších informací o palivu
- **Digital clock** – digitální hodiny
- **EFIS** – zobrazování letových informací na MFD (Glass Cockpit)

## 5.3. Rozdělení databáze FMS

### 5.3.1. Výkonová databáze

Poskytuje posádce informace o optimalizaci letu a údaje o výkonech daného typu letounu, které by pilot musel dohledat v příručkách letounu. Tyto informace může měnit pouze výrobce letadla. [10]

Na základě informací z výkonové databáze se provádějí výpočty plánovaných rychlostí pro každou fázi letu, a to na základě specifických požadavků. Tyto výpočty poskytnou optimalizaci profilu letu využívané pro určení trajektorie letu a dalších výkonnostních informací. [10]

Databáze obsahuje informace pro jednotlivé režimy letu jako je:

#### Stoupání

- economy – rychlost optimalizující náklady na provoz (Cost Index)
- maximální úhel stoupání – maximální rychlost s ohledem na vzdálenost
- maximální rychlost stoupání – maximální rychlost v závislosti na čase
- požadovaný čas příletu – rychlost, která optimalizuje celkové požadované náklady na provoz v závislosti na dosažení požadovaného času na konkrétní bod na trati. [10]

#### Let po trati

- economy – rychlost optimalizující náklady na provoz (Cost Index)
- maximální rychlost – dosažení požadované vzdálenosti za co nejkratší dobu
- maximální dolet – rychlost, při které se spotřebuje co nejméně paliva, ale doba letu se zvýší
- požadovaný čas příletu [10]

## **Klesání**

- economy – rychlost optimalizující náklady na provoz (Cost Index)
- maximální rychlost klesání
- požadovaný čas příletu [10]

## **Maximální a optimální výška**

Jeden z důležitých parametrů pro piloty je výpočet optimální a maximální výšky závislé na výkonu letecké pohonné jednotky, hmotnosti letadla, atmosférických podmínkách a dalších parametrech. [10]

## **Náhradní letiště (Alternate Destination)**

V databázi systému jsou uloženy informace o alternativním letišti. Výpočet posádce poskytne informace jaká je vzdálenost na alternativní letiště, palivo potřebné pro dolet a ETA. [10]

## **Krok stoupání a klesání**

Pro delší lety je často dosažitelná letová hladina menší než optimální letová hladina z důvodu velké letové hmotnosti letadla. Po spálení potřebného množství paliva je hmotnost snížena a letoun může stoupat do vyšší hladiny pro efektivnější chod pohonných jednotek. Systém FMS vypočítá body na trati, kdy je vhodné zahájit stoupání nebo klesání pro zajištění efektivního provozu. [10]

## **Limit tahu pohonné jednotky**

Aby nedocházelo k předčasnému opotřebení, údržbě a selhání pohonných jednotek se nastavují limity pro maximální výkon lišící se podle fáze letu. Nižší výkony se použijí při stoupání a cestovním letu a vyšší výkony lze využít v případě vzletu, opakovaného přistání a vysazení motoru. Tyto limity jsou vypočteny pomocí systému FMS na základě aktuální teploty, nadmořské výšky, rychlosti a odebírání vzduchu z motoru. [10]

## **Vzletové referenční údaje**

Systém FMS zajistí výpočet vzletových rychlostí na základě zadaných parametrů.

Vypočtené rychlosti jsou:

- $V_1$  – rychlost odpoutání
- $V_R$  – rychlost rotace
- $V_2$  – rychlost stoupání na jednu pohonnou jednotku

### **Přistávací referenční údaje**

Volba vhodné konfigurace pro přistání je poskytována podle druhu provozu konkrétního typu letadla. Posádka má možnost si zvolit vlastní konfiguraci na přistání. V závislosti na volbě konfigurace je vypočtena přistávací rychlost. [10]

### **5.3.2. Navigační databáze**

V této databázi jsou obsaženy veškeré informace, které se běžně zjišťovali studiem navigačních map. Navigační informace se zobrazují na CDU nebo na navigačním displeji. Z informací obsažených v této databázi je konstruován letový plán. Navigační databáze se musí pravidelně aktualizovat z důvodu zajištění aktuálních dat. Aktualizace se provádí v intervalech po dvaceti osmi dnech. V systému FMS jsou obsaženy dvě varianty navigačních dat. Jedna je aktivní a druhá neaktivní. Neaktivní databáze obsahuje připravované změny navigačních dat, která se v den uvedení do platnosti stane aktivní databází. Povinností posádky je se ujistit při předletové kontrole, že je navigační databáze aktuální.

Databáze obsahuje:

- navigační body na trati
- letové cesty
- radionavigační systémy (DME, VOR, NDB a ILS)
- letiště
- vzletové a přistávací dráhy
- standardní přístrojové odlety (SID)
- standardní přístrojové přílety (STAR)
- vyčkávací obrazce [10]

## 5.4. Letový plán

Je stanoven ještě na zemi před vzletem letadla, ale je možnost úpravy nebo změny letového plánu i v průběhu letu. U menších typů letadel provádí vyplnění letového plánu pilot. Pro dopravní letadla a velké společnosti provádí vyplnění profesionální dispečer. Do systému FMS se zadání provádí buď ručním zadáním, výběrem z knihovny společných cest (Company Routes) nebo přes datalink ACARS z dispečinku letecké společnosti. Další nezbytné informace pro správnou funkci systému se zadávají ručně jako je například hrubá hmotnost, teplota, hmotnost paliva a těžiště.

U letadel, která nemají navigační systém GPS, se musí zadávat počáteční poloha letadla ručně. Na navigačních displejích je letový plán znázorněn čarou v barvě magenta, která je složena z požadovaných bodů tratě.



Obr. č. 17 - Znáznornění letového plánu na displeji CDU

## 5.5. Určení polohy

Jeden z hlavních úkolů systému FMS je určování polohy letadla ve vzdušném prostoru a správnost této polohy. Základní zařízení FMS využívají jediného senzoru pro určení polohy a tím je systém GPS. U moderních variant systémů se používá několik na sobě nezávislých navigačních systémů pro přesné určení polohy.

Systémy pro určení polohy:

- GPS – pracuje jako primární senzor z důvodu nejvyšší přesnosti a integrity,
- Radiomajáky – druhá nejpresnější možnost určení polohy (DME a VOR),
- Inerciální navigační systém (IRS) – k určení polohy využívá laserové gyroscopy a akcelerometry umístěné na palubě letadla.

## **5.6. Vedení letadla v horizontální rovině (LNAV)**

Výstupem laterálního vedení jsou kurzy letu po velké kružnici (ortodromě) mezi traťovými body, ale může to být i udržování konstantního kurzu trati. Poloha FMS na zemi se určí pomocí IRS, který ale ve vzduchu načítá chybu, proto je za letu nutná korekce polohy. Korekce polohy se vypočítá systémem FMC na základě vstupů z DME, VOR a ILS. Aby se dosáhlo co nejlepšího signálu, ladí se tyto stanice automaticky. Pilot má však možnost volit frekvence i manuálně. [10]

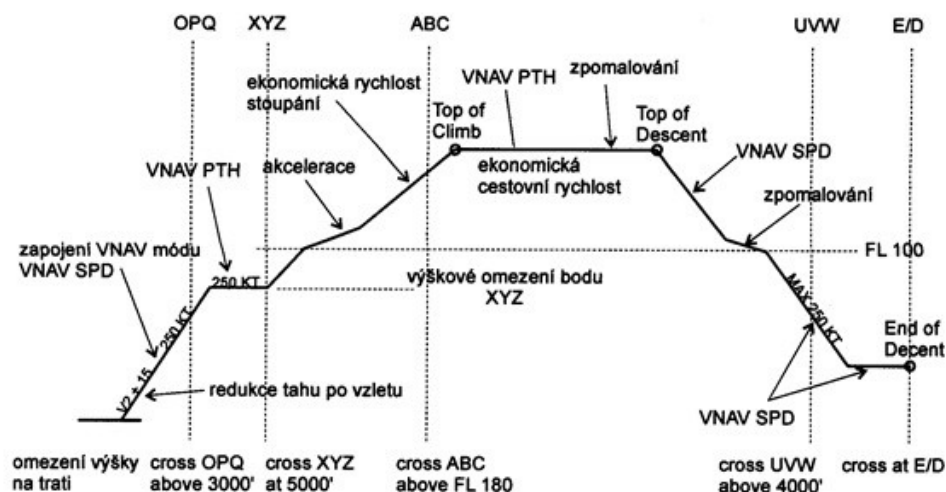
## **5.7. Vedení letadla ve vertikální rovině (VNAV)**

Systém FMC vypočítává optimální rychlost letu stanovenou na základě tzv. Cost Indexu (CI). Tento index je funkcí časově závislých nákladů (Time Related Cost). Při zvyšování rychlosti stoupání, klesání nebo cestovního letu se zvyšují náklady závislé na spotřebě paliva (Trip Fuel Cost), ale snižují se náklady závislé na celkové době letu (Trip Time Cost). [10]

Ekonomický mód rychlosti letu v režimu VNAV (economy cruise) podléhá nejnižším provozním nákladům založeným na CI. Minimální spotřeby paliva dosáhneme zadáním nulové hodnoty CI do systému FMS, což zahrnuje cestovní let s maximálním doletem a klesáním na co nejmenší rychlosti.

### **5.7.1. Stoupání a cestovní let**

Profil VNAV, který je ovládán FMC je složen ze stoupání po vzletu podle odletových postupů SID, dále ze stoupání ekonomickou rychlostí do zvolené cestovní hladiny. Let v cestovní hladině probíhá až do bodu T/D (Top of Descent). Na obr. č. 18 na straně 38 je znázorněn vertikální profil letu znázorňující výškové omezení na fiktivním bodu (XYZ) a omezení rychlosti pod FL 100 na maximální hodnotu 250 KT.



Obr. č. 18 - VNAV profil letu [4]

## 5.8. Sestup

Po vložení naplánovaného postupu přiblížení na přistání STAR do FMC systém vyhodnotí sestupovou trajektorii založenou na bodu E/D (End of Descent). Ten se určí ze zvolených postupů přiblížení STAR nebo z rychlostních a výškových omezení zvoleného postupu.

V případě vizuálního a nepřesného přístrojového přiblížení je trajektorie umístěna v bodě 50 ft nad prahem dráhy. Pilot nesmí dopustit pokles výšky pod povolená minima, pokud nemá vizuální referenci.

## **6. Doplnění PC simulátoru o systém FMS**

Tato kapitola je zaměřená na návrh doplnění stávajícího leteckého PC simulátoru umístěného na Ústavu letecké dopravy o modul FMS. Stávající simulátor lze rozšířit softwarovými doplňky do stávajícího simulátoru, hardwarovým rozšířením nebo kombinací těchto možností.

### **6.1. Návrh softwarového doplnění leteckého PC simulátoru**

Softwarové doplnění stávajícího leteckého simulátoru je realizovatelné několika variantami. Prvním možným způsobem jak rozšířit stávající simulátor je instalace softwarových doplňků na současnou verzi softwaru Microsoft Flight Simulator 2004. Druhou variantou je aktualizace na nejnovější verzi simulátoru od tohoto tvůrce, který by byl následně doplněn o další typy letadel s podporou systému FMS. Další možností by byl přechod na úplně jiný letecký simulátor od jiných tvůrců zabývajících se problematikou leteckých simulátorů jako je například Prepar3D od společnosti Lockheed Martin a podobných.

#### **6.1.1. Softwarové doplnění Microsoft Flight Simulator 2004 a 2010**

##### **A) iFly 737 NG FS 2004 version**

Tento software je určen jako doplněk pro Microsoft Flight Simulator 2004. Doplněk je realizován ve formě dalšího letounu v nabídce simulátoru. Jedná se o typ letounu Boeing 737 NG nabízející několik verzí jako je typ 600, 700, 800, 900. Dále je zde možnost nalézt editor pro konfiguraci veškerých parametrů letounu včetně zatížení.

Parametry systému:

- IRS, TMA, GPWS a EFIS
- plně funkční a interaktivní 3D kokpit
- plně funkční 2D přístrojový panel (včetně subpanelů)
- podpora více obrazovek
- integrace HUD (Head Up Display)
- podpora standardních přístrojových odletů a příletů (SID/STAR)

- kompletní simulace IRS
- kompatibilní pouze s FS 2004



Obr. č. 19 - Grafické zobrazení kokpitu letounu Boeing 737 v simulátoru iFly 737 NG FS 2004 [13]

V tabulce č. 2 na straně 43 jsou uvedeny údaje o minimálních hardwarových požadavcích nezbytných ke správné funkci systému.

Doplňky pro letecké simulátory jsou k dostání jak na originálních stránkách výrobce, tak i v internetovém obchodě s českou distribucí. Současná orientační cena daného doplňku pro letecký simulátor je znázorněna v tabulce č. 3 na straně č. 44, z důvodu lepšího porovnání cen jednotlivých doplňků.

## B) iFly 737 NG FSX version

Tento software je určen také jako doplněk již předinstalovaného leteckého simulátoru. Na rozdíl od předchozí verze je určen pro poslední vydání leteckého simulátoru, který vyvinula společnost Microsoft a to pro verzi Flight Simulator X. Provedení doplňku je stejné jako u předchozí verze systému. Oproti předešlé verzi obsahuje o něco více funkcí a je detailněji zpracován. V případě tohoto modelu je možnost aktualizací databáze letových tratí a map Jeppesen prostřednictvím služeb od společnosti Navigraph. Tento softwarový doplněk je zcela kompatibilní s přídatnými hardwarovými moduly vyvíjenými společnostmi VRInsight, Go-Flight a další.



Parametry systému:

- IRS, TMA, GPWS a EFIS
- plně funkční a interaktivní 3D kokpit
- plně funkční 2D přístrojový panel (včetně subpanelů)
- integrace HUD
- podpora více obrazovek
- podpora standardních přístrojových odletů a přiletů (SID/STAR)
- kompletní simulace IRS
- osvětlení kabiny
- kompletní avionický model
- detailní fyzikální model (odezva)
- detailní procedura spouštění a vypínání
- podpora aktualizace databáze Jeppesen (Navigraph)
- přímá podpora (go-Flight a VRInsight)
- kompatibilní pouze s FS X



*Obr. č. 20 - Grafické zobrazení kokpitu letounu Boeing 737 v simulátoru iFly 737 NG FS X [14]*

V tabulce č. 2 na straně 43 jsou uvedeny údaje o minimálních hardwarových požadavcích nezbytných ke správné funkci systému.

Doplňky pro letecké simulátory jsou k dostání jak na originálních stránkách výrobce, tak i v internetovém obchodě s českou distribucí. Současná orientační cena daného doplňku pro letecký simulátor je znázorněna v tabulce č. 3 na straně 44, z důvodu lepšího porovnání cen jednotlivých doplňků.

### **C) P.M.D.G 737 NGX**

Je to nástupce předchozí úspěšně prodávané verze simulace letounu Boeing 737 TNG určené pro starší verzi Microsoft Flight Simulator 2004. Tato verze systému je kompatibilní s nejnovější verzí simulátoru od společnosti Microsoft. Model je konstruován s takovou přesností, že se od skutečně vyráběného typu letounu Boeing 737 liší pouze v 5% výkonnosti. Součástí simulace je 3D komplexní exteriér, který lze zobrazit jako samostatný 2D panel nebo jednotlivé 2D subpanely.

Parametry systému:

- interaktivní 3D virtuální kokpit
- plně funkční 2D přístrojový panel (včetně subpanelů)
- FMC/AFDS
- podpora více obrazovek
- podpora aktualizace databáze Jeppesen (Navigraph)
- podpora HUD
- podpora standardních přístrojových odletů a příletů (SID/STAR)
- řešení nouzových situací
- kompatibilní pouze s FS X



Obr. č. 21 - Grafické zobrazení kokpitu letounu Boeing 737 v simulátoru P.M.D.G 737 NG FS X [15]

V tabulce č. 2 na straně 43 jsou uvedeny údaje o minimálních hardwarových požadavcích nezbytných ke správné funkci systému.

Doplňky pro letecké simulátory jsou k dostání jak na originálních stránkách výrobce, tak i v internetovém obchodě s českou distribucí. Současná orientační cena daného doplňku pro letecký simulátor je znázorněna v tabulce č. 3 na straně 44, z důvodu lepšího porovnání cen jednotlivých doplňků.

Tabulka č. 2: Minimální hardwarové požadavky

	Operační systém	Procesor	Operační paměť RAM	Grafická karta	Kapacita pevného disku	Podpora leteckého simulátoru
<b>iFly 737 NG FS 2004</b>	Windows XP, Vista, Win 7	2,4 GHz	2048 MB	512 MB	1,8 GB	FS 2004
<b>iFly 737 NG FS 2004</b>	Windows XP, Vista, Win 7	2,6 GHz	4096 MB	512 MB	2,5 GB	FS X
<b>P.M.D.G 737 NGX</b>	Windows XP, Vista, Win 7	2,6 GHz	2048 MB	512 MB	-	FS X

Tabulka č. 3: Srovnání cen jednotlivých doplňků pro letecké simulátory

	iFly 737 NG FS 2004	iFly 737 NG FS 2004	P.M.D.G 737 NGX
<b>Euro</b>	51.84 €	51.84 €	61.27 €
<b>USD</b>	54.95 \$	54.95 \$	69.99 \$
<b>Kč</b>	1 499 Kč	1 590 Kč	2 190 Kč

### 6.1.2. Doplnění o letecký simulátor Prepar 3D

Letecký simulátor Prepar 3D byl vytvořen společností Lockheed Martin. Je to nástupce simulátoru od společnosti Microsoft, který po vydání poslední verze Flight Simulatoru X přestal s tvorbou leteckých simulátorů. Tento letecký simulátor lze zakoupit v několika verzích rozdělených podle minimálních požadavků na tři varianty.

Společnost Lockheed Martin nabízí několik možných variant licencí k zakoupení lišících se především nabízeným množstvím funkcí systému, ceny a účelu použití. Nabízené licence jsou rozděleny do několika skupin právě podle účelu použití. Lze nalézt i studentskou licenci. Tato licence je nejlevnější možnou variantou. Cena této licence je 59.95 USD, v přepočtu na českou korunu je to asi 1 418 Kč. Ceny dalších licencí v závislosti na různých verzích softwarů jsou porovnány v tabulce č. 5 na straně 45, lze také zakoupit měsíční licenci za 9.95 USD.



Obr. č. 22 - Grafické zobrazení kokpitu letounu Boeing 737 v simulátoru Prepar 3D [16]

Společnosti P.M.D.G a iFly nabízejí rozšíření i pro simulátor Prepar 3D v podobě dalších modelů letadel. Doplnění simulátoru je realizováno shodně, jak tomu bylo u předchozího leteckého simulátoru.

Minimální hardwarové nároky jednotlivých verzí jsou uvedeny v tabulce č. 4 na straně 45. Nároky jsou rozděleny do třech nabízených verzí leteckého simulátoru Prepar 3D

*Tabulka č. 4: Minimální hardwarové nároky pro simulátor Prepar 3D*

	Operační systém	Procesor	Operační paměť RAM	Grafická karta	Kapacita pevného disku
<b>Prepar 3D v1.4</b>	Windows XP, Vista, Win 7	2,0 GHz	2048 MB	256 MB	20 GB
<b>Prepar 3D v2</b>	Windows XP, Vista, Win 7	3,0 GHz	2048 MB	1 GB	30 GB
<b>Prepar 3D v3</b>	Windows XP, Vista, Win 7	3,0 GHz	4096 MB	2 GB	30 GB

*Tabulka č. 5: Srovnání cen jednotlivých verzí systému prepar 3D*

	Prepar 3D v1.4	Prepar 3D v2	Prepar 3D v3
<b>Profesional license</b>	199.00 \$	199.00 \$	199.00 \$
<b>Academic license</b>	49.95 \$	59.95 \$	59.95 \$

## 6.2. Návrh hardwarového doplnění leteckého PC simulátoru

Jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly, tak cílem bakalářské práce je navrhnout rozšíření leteckého simulátoru o systém FMS, a to jak po softwarové stránce, tak i hardwarové. Tato podkapitola je zaměřena právě na hardwarové rozšíření. To je realizováno připojením dalšího komponentu do stávající počítačové sestavy leteckého simulátoru.

Vzhled a konstrukční provedení hardwarových komponentů pro letecké simulátory je odlišné podle výrobce nebo podle typu systému, který má být realizován. Pro doplnění systému FMS do leteckých simulátorů je na trhu několik variant od různých výrobců. Zde jsou proto uvedeny jen některé varianty, odlišné technickým provedením a výrobcem, umožňující mezi sebou porovnat jednotlivé komponenty od různých výrobců. Výběr byl prováděn na základě technického provedení, spolehlivosti a především ceny.

Každý z komponentů uvedených v této kapitole je kompatibilní s dříve zmiňovanými systémy leteckých simulátorů jako je Flight Simulator 2004 a 2010 nebo Prepar 3D.

### **6.2.1. Hardwarový doplněk podle vzoru Garmin 430**

#### **A) Elite AP-4000 GNS430 Garmin Module USB**

Výrobcem modulu je společnost Elite, která vytvořila modul zastupující všechny funkce ovládání reálného systému GPS GNS 430. Daný systém vyrábí společnost Garmin. Konstrukční provedení funkcemi a velikostí plně odpovídá skutečné předloze. V praxi to znamená, že ovládání na simulátoru je shodné s ovládáním u skutečné GPS Garmin 430.

U tohoto modulu lze snadno programovat systém FMS, ukládat letové plány a vyhledávat informace o letištích. Využití modulu je ve všech funkcích zcela shodné s reálným modulem. Na trhu je k dostání i novější verze tohoto modulu s označením Garmin 530.

Parametry modulu:

- replika GPS GARMIN GNS 430
- stoprocentní shoda ovládání
- autentické měřítko a design
- bez nutnosti externího napájení
- kompatibilní s FS 2004, FS X a Prepar 3D
- nutnost instalovat software GNS 530 od reality XP



*Obr. č. 23 - Modul od společnosti ELITE GNS430 [17]*

V tabulce č. 6 na straně 49 jsou uvedeny údaje o požadavcích na volné sloty v počítačové sestavě, přídatném zdroji napájení a podporovaném softwaru. V případě nevyhovujících nároků na počítačovou sestavu by nebylo možné modul zařadit do PC simulátoru.

Daný modul implementující systém letecké navigace GNS 430 je k dostání na stránkách výrobce a také na internetovém obchodě s českou distribucí. Současná orientační cena daného modulu je uvedena v tabulce č. 7 na straně 50.

## **B) VRInsight GPS 5**

Modul pro letecký simulátor od společnosti VRInsight představuje samostatnou jednotku sloužící pro zobrazení GPS. Konstrukční provedení je realizováno jako LCD displej s postranními ovládacími prvky. Umožňuje zobrazit prakticky všechny potřebné informace na displej jako CDU.

Výhodou u tohoto modulu je jeho externí využití, kdy ho lze ovládat bez nutnosti použití myši a bez omezování prostoru na hlavní obrazovce. Tento modul umožňuje programovat veškeré funkce systému FMS v leteckém simulátoru. Propojení s počítačem je prostřednictvím DVI nebo VGA portu na grafické kartě a jedním volným portem USB.

Parametry modulu:

- externí samostatná CDU – GPS
- vlastní softwarové rozhraní
- podpora komerčních add-on letounů
- kompatibilní s FS 2004 a FS X
- jednoduchá instalace
- kvalitní kovové zpracování





*Obr. č. 24 - Modul od společnosti VRInsight GPS 5 [18]*

V tabulce č. 6 na straně 49 jsou uvedeny údaje o požadavcích na volné sloty v počítačové sestavě, přídatném zdroji napájení a podporovaném softwaru. V případě nevyhovujících nároků na počítačovou sestavu by nebylo možné modul zařadit do PC simulátoru.

Daný modul implementující systém letecké navigace GNS 430 je k dostání na stránkách výrobce a také na internetovém obchodě s českou distribucí. Současná orientační cena daného modulu je uvedena v tabulce č. 7 na straně 50.

### **C) Flight1 Aviation Technologies G530 Simulator**

Tento modul je vyroben společností Flight1 Aviation Technologies. Modul byl vytvořen především za účelem zlepšení výuky pilotů na systému GNS 530. Systém byl vyvíjen pro letecký simulátor Prepar 3D, ale je kompatibilní i s Flight Simulator X.

Technické provedení je realizováno podobně jako u předchozího modelu. Konstrukce byla vytvořena jako skutečná replika systému GNS 530 s LCD displejem o úhlopříčce 5,6 palce a s ovládacími prvky umístěnými kolem displeje. Propojení s počítačovou sestavou je zcela shodné jako u předchozího modulu.

Parametry modulu:

- kompatibilní s Prepar 3D a FS X
- externí samostatná CDU – GPS
- podpora komerčních add-on letounů
- jednoduchá instalace
- kvalitní kovové zpracování





Obr. č. 25 - Modul od společnosti Flight1 G530 [19]

V tabulce č. 6 na straně 49 jsou uvedeny údaje o požadavcích na volné sloty v počítačové sestavě, přídatném zdroji napájení a podporovaném softwaru. V případě nevyhovujících nároků na počítačovou sestavu by nebylo možné modul zařadit do PC simulátoru.

Daný modul implementující systém letecké navigace GNS 430 je k dostání pouze na internetových stránkách výrobce. Současná orientační cena daného modulu je uvedena v tabulce č. 7 na straně 50.

Tabulka č. 6: Minimální požadavky na software a volné sloty počítačové sestavy

	Operační systém	Propojení s PC	Externí napájení	Instalace softwaru	Podpora leteckého simulátoru
<b>Elite AP-4000 GNS430</b>	Windows XP, Vista, Win 7	1xUSB	NE	ANO	FS 2004 FS X Prepar 3D
<b>VRInsight GPS 5</b>	Windows XP, Vista, Win 7	1xUSB 1xVGA/DVI	ANO	NE	FS 2004 FS X
<b>Flight1 G530</b>	Windows XP, Vista, Win 7	1xUSB 1xVGA/DVI	ANO	ANO	FS X Prepar 3D

Tabulka č. 7: Srovnání cen jednotlivých modulů podle vzoru Garmin 430

	Elite AP-4000 GNS430	VRInsight GPS 5	Flight1 G530
USD	549.00 \$	275.00 \$	1 150.00 \$
Kč	15 490 Kč	8 760 Kč	27 200 Kč*

\* pozn.: Cena v Kč je jen orientační, závislá na aktuálním kurzu

## 6.2.2. Hardwarový doplněk CDU podle vzoru z Boeing 737

### A) VRInsight CDU II

Tento modul je vyroben společností VRInsight. Modul je vyráběn podle vzoru reálného CDU používaného v moderních dopravních letounech, jako je Airbus nebo Boeing. Díky realistickému provedení CDU je programování prováděno shodně jako u skutečného letounu. Jednou z hlavních výhod je ovládání bez používání myši.

Modul je kompatibilní s leteckým simulátorem jak od Microsoft, tak i od společnosti Lockheed. Propojení s počítačem je provedeno přes jeden volný port USB a jeden DVI/VGA port pro propojení displeje. Napájení zařízení je realizováno z vnějšího zdroje pomocí adaptéru.

Parametry modulu:

- samostatný hardware
- autentický vzhled
- reálné měřítko
- kvalitní kovové zpracování
- LCD displej
- kompatibilní s FS 2004, FS X a Prepar 3D
- jednoduchá instalace



*Obr. č. 26 – Modul CDU II od společnosti VRInsight [20]*

V tabulce č. 8 na straně 54 jsou uvedeny údaje o požadavcích na volné sloty v počítačové sestavě, přídatném zdroji napájení a podporovaném softwaru. V případě nevyhovujících nároků na počítačovou sestavu by nebylo možné modul zařadit do PC simulátoru.

Daný modul implementuje systém FMS, který je k dostání na internetových stránkách výrobce také na internetovém obchodě s českou distribucí. Současná orientační cena daného modulu je uvedena v tabulce č. 9 na straně 54.

## **B) VRInsight CDU III**

Modul od společnosti VRInsight CDU III je podobný jako předchozí model CDU II, ale oproti staršímu modulu obsahuje navíc další displej. Displej lze využívat jako MFD a slouží k zobrazení navigačních dat a informací o pohonných jednotkách.

Systém je kompatibilní se stejnými leteckými simulátory jako u předchozí verze modulu CDU II a propojení s počítačovou sestavou je také shodné.

Kdyby mělo v budoucnu nastat další hardwarové rozšíření systému například o MFD, nebude rozšíření možné, protože v počítačové sestavě je nedostatek volných VGA/DVI portů. Proto je zde uveden tento model, aby byla možnost volby již teď a později nenastala komplikace s nedostatkem volných portů.

Parametry modulu:

- kvalitní kovové zpracování
- LCD displej
- kompatibilní s FS 2004, FS X a Prepar 3D
- jednoduchá instalace



Obr. č. 27 - Modul CDU III od společnosti VRInsight [21]

V tabulce č. 8 na straně 54 jsou uvedeny údaje o požadavcích na volné sloty v počítačové sestavě, přídatném zdroji napájení a podporovaném softwaru. V případě nevyhovujících nároků na počítačovou sestavu by nebylo možné modul zařadit do PC simulátoru.

Daný modul implementuje systém FMS, který je k dostání na internetových stránkách výrobce také na internetovém obchodě s českou distribucí. Současná orientační cena daného modulu je uvedena v tabulce č. 9 na straně 54.

### C) FDS B737NG – PRO – MX – CDU

Posledním zařízením vybraným pro doplnění leteckého simulátoru je CDU od společnosti Flight Deck Solutions. Zařízení je vyrobeno jako reálná kopie CDU letounu Boeing 737. Jako u předchozích modulů je také celý vyroben z kovu a je kompatibilní s používanými leteckými simulátory.

Propojení s počítačovou sestavou je provedeno stejným způsobem jako u předchozích modulů. Tedy je nutné mít pro připojení k počítačové sestavě jeden volný port USB a jeden VGA/DVI.

Parametry modulu:

- kvalitní provedení a design
- barevný LCD displej
- podsvícená klávesnice
- externí napájení
- kompatibilita s FS 2004, FS X a Prepar 3D
- kompatibilní s iFLY 737 a P.M.D.G 737
- nastavení jasu LCD
- nastavení intenzity podsvícení



Obr. č. 28 - Modul FDS B737NG – CDU od společnosti Flight Deck solutions [22]

V tabulce č. 8 na straně 54 jsou uvedeny údaje o požadavcích na volné sloty v počítačové sestavě, přídatném zdroji napájení a podporovaném softwaru. V případě nevyhovujících nároků na počítačovou sestavu by nebylo možné modul zařadit do PC simulátoru.

Daný modul implementuje systém FMS, který je k dostání na internetových stránkách výrobce také na internetovém obchodě s českou distribucí. Současná orientační cena daného modulu je uvedena v tabulce č. 9 na straně 54.

*Tabulka č. 8: Minimální požadavky na software a volné sloty počítačové sestavy*

	<b>Operační systém</b>	<b>Propojení s PC</b>	<b>Externí napájení</b>	<b>Instalace softwaru</b>	<b>Podpora leteckého simulátoru</b>
<b>VRInsight CDU II</b>	Windows XP, Vista, Win 7	1xUSB 1xVGA/DVI	ANO	ANO	FS 2004 FS X Prepar 3D
<b>VRInsight CDU III</b>	Windows XP, Vista, Win 7	1xUSB 1xVGA/DVI	ANO	ANO	FS 2004 FS X Prepar 3D
<b>FDS B737NG - CDU</b>	Windows XP, Vista, Win 7	1xUSB 1xVGA/DVI	ANO	ANO	FS X Prepar 3D

*Tabulka č. 9: Srovnání cen jednotlivých modulů podle vzoru CDU Boeing 737*

	<b>VRInsight CDU II</b>	<b>VRInsight CDU III</b>	<b>FDS B737NG - CDU</b>
<b>Euro</b>	312.00 €	414.00 €	680.32 €
<b>USD</b>	354.80 \$	470.90 \$	774.42 \$
<b>Kč</b>	15 657 Kč	18 690 Kč	18 439 Kč*

\* pozn.: Cena v Kč je jen orientační, závislá na aktuálním kurzu

### 6.3. Aktualizace navigační databáze

Jak je tomu v reálné civilní letecké dopravě tak i u leteckých simulátorů se navigační databáze systému FMS musejí aktualizovat. Aktualizované informace jsou například body na letových tratích, standardní přístrojové odlety a přílety (SID/STAR) a další.

Jednou ze společností, která zprostředkovává aktualizace navigačních dat pro letecké simulátory je Navigraph. Systém Navigraph provádí aktualizace pravidelně každých dvacet osm dní za určitý poplatek. Jednotlivé poplatky za zprostředkování služeb jsou vypsány v tabulce č. 10 na straně 55.

Aktualizace od společnosti Navigraph jsou kompatibilní s leteckým simulátorem Flight Simulator 2004 a 2010 a simulátorem Prepar 3D. Dále podporují i doplňky do simulátorů jako je doplněk od P.M.D.G. nebo iFly.

*Tabulka č. 10: Srovnání cen aktualizací navigačních dat od společnosti Navigraph*

	Mapy	FMS data	Mapy a FMS data
Měsíc [Euro]	-	5,90 €	7.50 €
Rok [Euro]	54.90 €	22.90 €	64.90 €

## 7. Závěr

Cílem mé bakalářské práce je navrhnout rozšíření leteckého simulátoru na ÚLD o systém FMS. Pro volbu jednotlivých doplňků jsem využil jako předlohu vzory reálných palubních systémů GNS 430 a FMS z letounu Boeing 737.

Nejprve bylo nutné důkladně prostudovat konstrukční provedení počítačového simulátoru PC/SIM 02, aby bylo možné porovnat mezi sebou minimální hardwarové a softwarové požadavky a na základě těchto požadavků zvolit rozšíření simulátoru.

Navrhovaná řešení byla porovnána mezi sebou na základě jednotlivých parametrů. Nejdůležitějšími parametry, podle kterých byl realizován výběr, jsou, konstrukční provedení systému a orientační pořizovací cena. Jednotlivé varianty rozšíření byly vybrány jako softwarový a hardwarový doplněk, nebo jako kombinace obou variant.

Poznatky, které jsem získal v průběhu analyzování jednotlivých možností o doplnění počítačového leteckého simulátoru mi pomohly při výběru nejvhodnějšího řešení. Na základě těchto poznatků jsem zvolil jako nejlepší možnou volbu aktualizaci na novější letecký simulátor Prepar 3D, který je uveden v kapitole 6.1.2. Jedním z důvodů pro tuto volbu je podpora systému pravidelnými aktualizacemi a vývojem nových verzí oproti systému od Flight Simulator. Dalším důležitým parametrem je pořizovací cena, která při zakoupení studentské licence je jen nepatrně vyšší.

Co se týká hardwarového rozšíření, je podle mého výběru nejlepší možnou variantou modul od společnosti Flight Deck Solutions uvedený v kapitole 6.2.2. bod C. Vycházel jsem z porovnání ceny a konstrukce provedení.

Na závěr bych chtěl dodat, že volba rozšíření počítačového leteckého simulátoru bude závislá na finančních možnostech pracoviště.



## Použitá literatura

- [1] PALICH, Kristián Bc. *Využití simulátorů s pevnou základnou v pilotním výcviku* [online]. BRNO: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2013 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/25950>
- [2] PAGE, Ray L. QANTAS SIMULATION SERVICES. *Brief History of Flight Simulation* [online]. [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.132.5428&rep=rep1&type=pdf>
- [3] ÚSTAV LETECKÉ DOPRAVY VŠB-TUO. *Laboratoř leteckých simulátorů* [online]. [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.342.vsb.cz/uld/?laborator-leteckych-simulatoru>
- [4] KUPKOVÁ, Denisa. *Výukový systém předmětu Navigace III.* [online]. Ostrava, 2015 [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/109635>
- [5] LETECKÁ INFORMAČNÍ SLUŽBA. *Předpis L 8168* [online]. [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-8168/data/effective/i-d4-h1.pdf>
- [6] VOSECKÝ, Slavomír. *Radionavigace (062 00)*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1. ISBN 80-720-4448-6.
- [7] BATELKA, Marek. *Cíle, metody a technologie prostorové navigace* [online]. BRNO: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2009 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/13551>
- [8] KADAVA, Marek. *Cíle, metody a možnosti technického zabezpečení RNAV* [online]. BRNO: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2008 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/16496>
- [9] HODINKA, Jan Bc. *Metody, technické prostředky a procedury plánování a navigace letu po volných tratích v podmínkách RVSM* [online]. BRNO: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2008 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/3141>
- [10] WALTER, Randy. SMITH INDUSTRIES. *Flight Management Systems* [online]. [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: [http://www.ohio.edu/people/uijtdeha/theavionics handbook\\_cap\\_15.pdf](http://www.ohio.edu/people/uijtdeha/theavionics handbook_cap_15.pdf)
- [11] *Airbus A320 Full Flight Simulator* [online]. [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.catc.cz/cz/vycvikova-zarizeni/airbus-a320-full-flight-simulator-1/>

- [12] *Autopilot engaged* [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.begos.net/041/Chapitre041.html>
- [13] *Product Features iFly Jets: the 737NG* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.iflysimsoft.com/ProductsDetail.aspx?PID=1>
- [14] *Product Features iFly Jets: the 737NG for Microsoft Flight Simulator X* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.iflysimsoft.com/ProductsDetail.aspx?PID=13>
- [15] *P.M.D.G. 737NGX* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.precisionmanuals.com/pages/product/FSX/ngx8900.html#>
- [16] *Image gallery* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.prepar3d.com/images/>
- [17] *ELITE AP-4000 GNS430 Garmin module USB* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.highinthesky.cz/obchod/sortiment/elite-ap-4000-gns430-garmin-module-usb-p994/>
- [18] *VRInsight GPS 5* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.highinthesky.cz/obchod/sortiment/vrinsight-gps-5--p1146/>
- [19] *G530 Simulator Enterprise Edition* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.flight1tech.com/Products/AvionicsSimulations/G530SimulatorEnterpriseEdition.aspx>
- [20] *VRInsight CDU II* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.highinthesky.cz/obchod/sortiment/vrinsight-cdu-ii-p1145/>
- [21] *VRInsight CDU III Panel USB* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.highinthesky.cz/obchod/sortiment/vrinsight-cdu-iii-panel-usb-p1401/>
- [22] *737 CDU* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: [http://www.flyengravity.com/photo\\_popup.html?http://www.flyengravity.com/products/large\\_00000086\\_0001.jpg](http://www.flyengravity.com/photo_popup.html?http://www.flyengravity.com/products/large_00000086_0001.jpg)